不同品种类型玉米不同器官和全株生物产量比较

杨立杰[1]　王兆凤[2]　吴晓静[1]　李思梦[1]　刘廷俊[1]　杨在宾[1*]　姜淑贞[1*]

（1.山东农业大学动物科技学院，山东省动物生物工程与疾病防治重点实验室，泰安 271018；2.山东省畜牧总站，济南 250022）

摘　要：本试验旨在比较不同品种类型玉米（*Zea mays*）不同器官和全株的生物产量，以提高玉米定向培育的选择效率。选择 32 种具有代表性的玉米优良品种为试验材料，根据淀粉性质、籽实外形、成熟性质和用途 4 种分类方法，分别对完熟期玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆及全株的鲜物质、风干物质、干物质以及粗蛋白质和总能产量进行比较。每个品种选择 5 个地块，每个地块选取 10 株玉米。结果表明：玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的鲜物质、风干物质、干物质、粗蛋白质和总能产量不同品种类型间差异均显著（P<0.05）。根据淀粉性质、籽实外形和成熟性质分类不足以区别不同品种类型玉米的不同器官和全株生物产量（P>0.05）。按用途分类，不同品种类型玉米不同器官和全株生物产量（玉米籽实的风干物质、干物质和总能产量除外）均差异显著（P<0.05），表现为饲用玉米>红粒玉米>普通玉米>糯玉米。对广泛种植的普通玉米和饲用玉米进行比较，以普通玉米产量为 100.0%，饲用玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的鲜物质产量分别为 121.9%、164.2%、175.5%、149.0%、151.7%、168.8%和 149.9%；风干物质产量分别为 107.9%、143.7%、155.1%、139.4%、126.1%、162.0%和 129.1%；干物质产量分别为 107.5%、143.4%、155.0%、139.5%、125.7%、162.0%和 129.21%；粗蛋白质产量分别为 119.0%、142.9%、181.5%、161.6%、122.0%、137.4%和 131.7%；总能产量分别为 107.7%、143.8%、155.0%、139.4%、126.1%、162.0%和 129.1%。玉米籽实干物质、粗蛋白质和总能产量占玉米全株的比例，普通玉米分别为 47.75%、57.87%和 48.49%，饲用玉米分别为 39.72%、52.36%和 40.48%。由此得出，普通玉米全株饲喂，是“粮改饲”的最基本的

收稿日期：2017-03-08

基金项目：山东省现代农业产业技术体系生猪创新团队建设项目（SDAIT-08-04）；山东省重点研发计划项目“玉米青饲生产优质猪肉和粪污还田精准化关键技术研究与集成”（2016GNC111018）；山东省农业重大应用技术创新项目“全株青绿玉米生产优质猪肉技术研究”（201636）；“双一流”奖补资金资助

作者简介：杨立杰（1992-），男，山东潍坊人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: 724832205@qq.com

[*]通信作者：杨在宾，教授，博士生导师，E-mail: yzb204@163.com；姜淑贞，副教授，硕士生导师，E-mail: shuzhen305@163.com

策略，而饲用玉米籽实和全株生物产量都高于普通玉米，种植饲用玉米可以增加30%左右的土地利用。

关键词：玉米；植株；粗蛋白质；总能；产量

中图分类号：S513　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

玉米（*Zea mays*）是最优质的粮饲兼用作物之一，在中国，78%的玉米被用作畜禽饲料的生产与研究[1]。研究表明，玉米籽实作为畜禽饲料，能够显著提高肉、蛋、奶的产量和品质[2-4]。值得一提的是，玉米秸秆能在一定程度上替代玉米籽实发挥高能饲料的作用[5-6]。为了满足不同行业对不同玉米品质的要求，欧美等许多农业较发达的地区已经培育了包括饲用玉米在内的多种专用型玉米品种[7-8]。遗憾的是，我国玉米种植仍以单一的粮用品种为主，而对其他玉米品种研究相对较少[9-10]。近年来，我国种粮结构偏差严重，致使玉米仓储量越来越大，给国家财政带来巨大压力。在国家政策鼓励和国内粮食不断丰收的大背景下，加快发展农区畜牧业、积极推进“粮改饲”已势在必行[11-14]。但是，“粮改饲”一定要以“种养结合”为前提，养为主体、为养而种、以养改种，才能确保饲用玉米的转化增值[15]。因此，本试验通过对玉米不同品种类型、不同器官生物产量间的关系进行比较分析，旨在提高玉米定向培育效率的同时，为我国“粮改饲”政策的施行助力。

1　材料与方法

1.1　试验材料

针对玉米品种特性，本试验选择32种不同品种的玉米（产自淄博禾丰种业试验基地），从淀粉性质上包含粉质玉米10个、胶质玉米22个；从籽实外形上包括马齿形玉米9个、半马齿形玉米15个、硬粒形玉米8个；同时，有目的地选择了不同成熟性质和用途的相应玉米品种。本试验所选玉米品种详细分类见表1。每个品种选择5个地块，均在各自品种的完熟期收割，用作生物产量测定。

1.2　生物产量测定

鲜物质产量：每个地块选取10株玉米，距离地面5 cm处全株刈割，整株称鲜重。剥离全株玉米，分成籽实、玉米芯、叶片、苞叶、叶鞘、茎秆6部分，分别称鲜重。根据播种密度、鲜重，计算全株和不同器官的鲜物质产量。

风干物质产量：每个地块选取10株玉米，距离地面5 cm处全株刈割。剥离全株玉米，

分成籽实、玉米芯、叶片、苞叶、叶鞘、茎秆 6 部分，分别称鲜重后，将植株和器官样本进行标号，用网兜分装，置于阳光充足、通风良好的环境中，自然风干 60 d 后测定风干物质重。根据播种密度、风干物质重，计算全株和不同器官的风干物质产量。

干物质产量：将测定植株风干物质产量的样本全部带回实验室，每个品种、每个器官取自然风干的样本样 500 g，粉碎过 60 目，测定 105 ℃下干物质含量。根据播种密度、干物质含量，计算全株和不同器官的干物质产量。

粗蛋白质产量：每个品种、每个器官取过 60 目的上述风干样本 5 g，测定全株和不同器官部位的粗蛋白质含量。根据风干物质产量、粗蛋白质含量，计算全株和不同器官的粗蛋白质产量。

总能产量：每个品种、每个器官取过 60 目的上述风干样本 5 g，测定全株和不同器官部位的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量，根据文献[16]的方法计算风干基础上总能值。根据干物质产量、总能值，计算全株和不同器官的总能产量。

1.3 营养成分测定

样本营养成分的测定方法如下：干物质含量采用（105 ℃）烘干法（GB/T 6435-2006），粗蛋白质含量采用凯氏半微量定氮法（GB/T 6432-1994），粗脂肪含量采用索氏乙醚提取法（GB/T 6433-2006），粗灰分含量采用（550 ℃）灰化法（GB/T 6438-2007）。

表 1 不同玉米品种分类

Table 1 Classification of different maize varieties

编号 No.	名称 Name	淀粉性质 Starch property	籽实外形 Grain shape	成熟性质 Mature property	用途 Application
1	登海 618	粉质	马齿形	早熟	普通
2	淄单 11	粉质	马齿形	中熟	普通
3	禾玉 127	粉质	马齿形	中熟	普通
4	德利农 7	粉质	马齿形	中熟	普通
5	迪卡 517	粉质	马齿形	晚熟	普通
6	鲁单 818	粉质	半马齿形	早熟	普通
7	禾玉 505	粉质	半马齿形	中熟	红粒

8	淄玉 14	粉质	半马齿形	晚熟	普通
9	淄玉 308	粉质	半马齿形	晚熟	普通
10	京科糯 2000	粉质	硬粒形	早熟	糯
11	登海 605	胶质	马齿形	早熟	普通
12	连胜 216	胶质	马齿形	中熟	普通
13	金创 1 号	胶质	马齿形	中熟	饲料
14	巨人 18 号	胶质	马齿形	晚熟	饲料
15	禾玉 515	胶质	半马齿形	早熟	普通
16	禾玉 503	胶质	半马齿形	中熟	普通
17	德玉 4 号	胶质	半马齿形	中熟	普通
18	宇玉 30	胶质	半马齿形	中熟	普通
19	士海 916	胶质	半马齿形	中熟	普通
20	黄糯 958	胶质	半马齿形	中熟	糯
21	郑单 958	胶质	半马齿形	中熟	普通
22	黑马 603	胶质	半马齿形	中熟	普通
23	鲁单 9066	胶质	半马齿形	中熟	普通
24	先玉 335	胶质	半马齿形	晚熟	普通
25	圣瑞 999	胶质	半马齿形	晚熟	普通
26	禾玉 501	胶质	硬粒形	早熟	糯
27	饲玉 1 号	胶质	硬粒形	中熟	饲料
28	饲玉 2 号	胶质	硬粒形	中熟	饲料
29	冠玉 6 号	胶质	硬粒形	中熟	普通
30	登海 3737	胶质	硬粒形	中熟	普通
31	德单 5 号	胶质	硬粒形	中熟	普通
32	淄玉 707	胶质	硬粒形	晚熟	普通

1.4 统计分析方法

采用 SAS 9.2 软件对数据进行分析，其中方差分析采用单因素方差分析（one-way ANOVA）程序和多重比较采用 Duncan 氏法多重比较程序进行，$P<0.05$ 为差异显著。以每个品种 5 个不同种植地块为重复，进行品种间统计分析，获得均值标准误（SEM）和 P 值。根据表 1 中分类，以 32 个不同玉米品种为重复，分别进行淀粉性质（胶质 vs.粉质）、籽实外形（马齿形 vs.半马齿形 vs.硬粒形）、成熟性质（早熟 vs.中熟 vs.晚熟）和用途（红粒 vs.糯玉米 vs.普通 vs.饲用）之间进行统计分析，获得相应 P 值。

2 结果分析

2.1 不同品种类型玉米不同器官和全株鲜物质产量比较

不同品种类型的玉米统一在完熟期收获时测定的玉米全株及各器官的鲜物质产量见表 2。方差分析显示，玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的鲜物质产量，不同品种类型间均差异极显著（$P<0.01$）。依据淀粉性质、籽实外形和成熟性质 3 种分类方法比较不同玉米品种类型，不同器官和全株的鲜物质产量均没有表现出显著差异（$P>0.05$）。从不同用途比较不同玉米品种类型，不同器官和全株的鲜物质产量均表现出了显著差异（$P<0.05$），具体表现为饲用玉米>红粒玉米>普通玉米>糯玉米。以上分析表明，根据用途分类评价玉米鲜物质生物产量可能更为合理。

表 2　不同品种类型玉米不同器官和全株鲜物质产量比较

Table 2　Comparison of fresh matter yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties

项目 Items		植株数 Number of plants/(株/hm^2)	籽实 Kernel/（kg/hm^2）	玉米芯 Corncob/（kg/hm^2）	苞叶 Bract/（kg/hm^2）	叶片 Leaf/（kg/hm^2）	叶鞘 Sheath/（kg/hm^2）	茎秆 Stem/（kg/hm^2）	全株 Whole plant/（kg/hm^2）
淀粉性质 Starch properties	粉质玉米 Flour maize	71 250	17 094	3 284	2 135	8 503	3 709	19 682	54 406
	胶质玉米 Glial maize	71 250	17 766	3 843	2 601	9 263	4 458	22 973	60 904
籽实外形 Grain shape	马齿形玉米 Dent maize	74 167	18 812	3 888	2 886	10 097	5 012	23 346	64 041
	半马齿形玉米 Semi dent maize	70 500	17 064	3 365	2 204	8 270	3 891	20 560	55 353
	硬粒形玉米 Flint maize	69 375	17 064	3 989	2 441	9 237	3 961	22 965	59 658
成熟性质 Mature properties	早熟玉米 Early maturing maize	72 500	17 553	3 291	2 284	9 395	3 762	22 673	58 958
	中熟玉米 Medium	69 868	17 841	3 563	2 317	8 897	4 284	21 583	58 484

	maturing maize								
	晚熟玉米 Late maturing maize	73 929	16 784	4 278	2 978	9 058	4 455	22 302	59 855
用途 Application	糯玉米 Waxy maize	67 500	13 242[b]	3 138[b]	1 769[b]	7 673[b]	2 599[b]	19 859[b]	48 279[b]
	普通玉米 Normal maize	71 562	17 453[ab]	3 438[b]	2 303[b]	8 557[b]	4 097[b]	20 149[b]	55 996[b]
	红粒玉米 Red grain maize	67 500	18 061[ab]	2 864[b]	1 823[b]	9 416[ab]	4 185[b]	23 018[b]	59 366[b]
	饲用玉米 Forage maize	73 125	21 283[a]	5 645[a]	4 042[a]	12 754[a]	6 214[a]	34 019[a]	83 956[a]
SEM		891	603	190	175	437	237	1 111	2 350
P-值 *P*-value									
品种类型 Variety type		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
淀粉性质 Starch property		1.000	0.614	0.177	0.222	0.429	0.146	0.173	0.205
籽实外形 Grain shape		0.106	0.442	0.329	0.270	0.211	0.112	0.515	0.305
成熟性质 Mature property		0.153	0.794	0.208	0.295	0.916	0.634	0.925	0.975
用途 Application		0.431	0.014	<0.001	0.002	0.006	<0.001	<0.001	<0.001

112 同列同一项目数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 3 至表 6 同。

113 In the same column, values of the same item with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts

mean significant difference ($P < 0.05$). The same as Table 3 to Table 6.

2.2 不同品种类型玉米不同器官和全株风干物质产量比较

不同品种类型的玉米统一在完熟期收获时测定的玉米全株及各器官的风干物质产量见表 3。方差分析显示，玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的风干物质产量，不同品种类型间差异显著（P<0.05）。依据淀粉性质、籽实外形和成熟性质 3 种分类方法比较不同玉米品种类型，不同器官和全株的风干物质产量均差异不显著（P>0.05）。而根据不同用途比较不同玉米品种类型，除了籽实的风干物质产量差异不显著（P>0.05）外，其他器官和全株的风干物质产量差异显著（P<0.05），具体表现为饲用玉米>红粒玉米>普通玉米>糯玉米。

表 3　不同品种类型玉米不同器官和全株风干物质产量比较

Table 3　Comparison of air-dried matter yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties

项目 Items		植株数 Number of plants/(株/hm^2)	籽实 Kernel	玉米芯 Corncob/（kg/hm^2）	苞叶 Bract/（kg/hm^2）	叶片 Leaf/（kg/hm^2）	叶鞘 Sheath/（kg/hm^2）	茎秆 Stem/（kg/hm^2）	全株 Whole plant/（kg/hm^2）
淀粉性质 Starch property	粉质玉米 Flour maize	71 250	10 084	1 930	839	2 478	1 057	4 120	20 508
	胶质玉米 Glial maize	71 250	10 257	2 192	928	2 840	1 101	4 934	22 253
籽实外形 Grain shape	马齿形玉米 Dent maize	74 167	10 965	2 221	1 000	2 810	1 168	5 108	23 273
	半马齿形玉米 Semi	70 500	10 258	2 020	852	2 659	1 071	4 266	21 125

	dent maize								
	硬粒玉米 Flint maize	69 375	9 242	2 154	879	2 761	1 028	4 975	21 039
	早熟玉米 Early maturing maize	72 500	10 602	1 982	948	2 748	1 074	4 951	22 305
成熟性质 Mature property	中熟玉米 Medium maturing maize	69 868	10 397	2 069	846	2 657	1 080	4 506	21 554
	晚熟玉米 Late maturing maize	73 929	9 332	2 332	1 007	2 900	1 120	4 920	21 612
	糯玉米 Waxy maize	67 500	7 876	1 875[b]	738[b]	2 196[b]	821[b]	4 307[b]	17 813[b]
	普通玉米 Normal maize	71 562	10 316	2 023[b]	861[b]	2 637[b]	1 077[b]	4 360[b]	21 274[b]
用途 Application	红粒玉米 Red grain maize	67 500	10 814	1 715[b]	587[b]	2 693[b]	1 046[b]	3 944[b]	20 799[b]
	饲用玉米 Forage maize	73 125	11 115	2 908[a]	1 335[a]	3 675[a]	1 358[a]	7 064[a]	27 456[a]
SEM		891	334	84	49	104	35	272	679

P-值 *P*-value								
品种类型 Variety type	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
淀粉性质 Starch property	1.000	0.815	0.154	0.406	0.108	0.563	0.170	0.240
籽实外形 Grain shape	0.106	0.172	0.597	0.442	0.826	0.316	0.367	0.365
成熟性质 Mature property	0.152	0.389	0.365	0.389	0.656	0.890	0.754	0.919
用途 Application	0.431	0.125	0.001	0.002	0.001	0.001	0.006	0.002

2.3 不同品种类型玉米不同器官和全株干物质产量比较

不同品种类型的玉米统一在完熟期收获时测定的玉米全株及各器官的干物质产量见表 4。方差分析显示，玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的干物质产量，不同品种类型间差异显著（$P<0.05$）。不同品种类型玉米按淀粉性质、籽实外形和成熟性质分类后比较，不同器官和全株的干物质产量差异均不显著（$P>0.05$）。而根据不同用途比较不同玉米品种类型，除了籽实的干物质产量差异不显著（$P>0.05$）外，其他器官和全株的干物质产量均差异显著（$P<0.05$）。

表 4 不同品种类型玉米不同器官和全株干物质产量比较

Table 4 Comparison of dry matter yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties

项目 Items	植株数 Number of	籽实 Kernel/（kg/hm^2）	玉米芯 Corncob/	苞叶 Bract/（kg/hm^2）	叶片 Leaf/（kg/hm^2）	叶鞘 Sheath/（kg/hm^2）	茎秆 Stem/（kg/hm^2）	全株 Whole plant/

		plants/(株/hm^2)		（kg/hm^2）					（kg/hm^2）
淀粉性质 Starch property	粉质玉米 Flour maize	71 250	8 523	1 631	763	2 173	932	3 586	17 608
	胶质玉米 Glial maize	71 250	8 680	1 855	844	2 494	969	4 293	19 134
籽实外形 Grain shape	马齿形玉米 Dent maize	74 167	9 263	1 877	910	2 463	1027	4 441	19 981
	半马齿形玉米 Semi dent maize	70 500	8 686	1 710	774	2 335	943	3 715	18 164
	硬粒玉米 Flint maize	69 375	7 816	1 821	799	2 426	906	4 326	18 095
成熟性质 Mature property	早熟玉米 Early maturing maize	72 500	8 945	1 672	862	2 411	947	4 298	19 135
	中熟玉米 Medium maturing maize	69 868	8 800	1 751	769	2 333	950	3 921	18 524
	晚熟玉米 Late maturing maize	73 929	7 902	1 974	916	2 545	986	4 288	18 612
用途 Application	糯玉米 Waxy maize	67 500	6 660	1 585[b]	669[b]	1 932[b]	725[b]	3 742[b]	15 314[b]
	普通玉米 Normal	71 562	8 730	1 712[b]	783[b]	2 314[b]	949[b]	3 794[b]	18 281[b]

	maize								
	红粒玉米 Red grain maize	67 500	9 148	1 450[b]	533[b]	2 369[b]	924[b]	3 448[b]	17 872[b]
	饲用玉米 Forage maize	73 125	9 381	2 455[a]	1 214[a]	3 229[a]	1 193[a]	6 147[a]	23 619[a]
SEM		891	282	71	44	91	30	237	584
P-值 *P*-value									
品种类型 Variety type		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
淀粉性质 Starch property		1.000	0.801	0.150	0.411	0.104	0.577	0.171	0.232
籽实外形 Grain shape		0.106	0.174	0.610	0.438	0.834	0.329	0.374	0.378
成熟性质 Mature property		0.152	0.397	0.354	0.383	0.662	0.890	0.756	0.929
用途 Application		0.431	0.124	0.001	0.002	0.001	0.001	0.006	0.002

2.4 不同品种类型玉米不同器官和全株粗蛋白质产量比较

不同品种类型的玉米统一在完熟期收获时测定的玉米全株及各器官的粗蛋白质产量见表 5。方差分析显示，玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的粗蛋白质产量，在不同玉米品种类型间均表现出显著差异（$P<0.05$）。不同品种类型玉米按淀粉性质、籽实外形和成熟性质分类后比较，

不同器官和全株的粗蛋白质产量差异均不显著（$P>0.05$）。将不同品种类型玉米按不同用途分类比较，不同器官和全株的粗蛋白质产量均差异显著（$P<0.05$）。

表 5 不同品种类型玉米不同器官和全株粗蛋白质产量比较

Table 5 Comparison of crude protein yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties

项目 Items		植株数 Number of plants/(株/hm^2)	籽实 Kernel/（kg/hm^2）	玉米芯 Corncob/（kg/hm^2）	苞叶 Bract/（kg/hm^2）	叶片 Leaf/（kg/hm^2）	叶鞘 Sheath/（kg/hm^2）	茎秆 Stem/（kg/hm^2）	全株 Whole plant/（kg/hm^2）
淀粉性质 Starch property	粉质玉米 Flour maize	71 250	821	46	29	243	57	205	1 402
	胶质玉米 Glial maize	71 250	828	53	28	261	61	186	1 416
籽实外形 Grain shape	马齿形玉米 Dent maize	74 167	936^{a}	54	35	259	71	218	1 572
	半马齿形玉米 Semi dent maize	70 500	825^{ab}	49	27	272	62	167	1 402
	硬粒玉米 Flint maize	69 375	750^{b}	52	29	272	59	210	1 371
成熟性质 Mature property	早熟玉米 Early maturing maize	72 500	869	48	31	234	58	199	1 440
	中熟玉米 Medium	69 868	907	50	25	257	63	187	1 489

	maturing maize								
	晚熟玉米 Late maturing maize	73 929	791	56	29	314	64	162	1 416
	糯玉米 Waxy maize	67 500	615^{b}	45^{b}	26^{b}	218^{b}	45^{b}	179	$1\ 128^{b}$
用途 Application	普通玉米 Normal maize	71 562	783^{b}	49^{b}	27^{b}	245^{b}	59^{ab}	190	$1\ 352^{b}$
	红粒玉米 Red grain maize	67 500	932^{b}	41^{b}	20^{b}	230^{b}	61^{ab}	179	$1\ 462^{ab}$
	饲用玉米 Forage maize	73 125	932^{a}	70^{a}	49^{a}	396^{a}	72^{a}	261	$1\ 781^{a}$
SEM		891	27	2	1	9	2	10	41
P-值 *P*-value									
品种类型 Variety type		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
淀粉性质 Starch property		1.000	0.913	0.154	0.768	0.380	0.420	0.390	0.879
籽实外形 Grain shape		0.106	0.048	0.597	0.185	0.844	0.114	0.126	0.181
成熟性质 Mature property		0.153	0.276	0.365	0.274	0.045	0.657	0.490	0.780
用途 Application		0.431	0.032	0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.105	<0.001

2.5　不同品种类型玉米不同器官和全株总能产量比较

不同品种类型的玉米统一在完熟期收获时测定的玉米全株及各器官的总能产量见表 6。方差分析显示，玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的总能产量，在不同玉米品种类型间均表现出显著差异（$P<0.05$）。不同品种类型玉米按淀粉性质、籽实外形和成熟性质分类后比较，不同器官和全株的总能产量差异均不显著（$P>0.05$）。将不同品种类型玉米按不同用途分类比较，除了籽实的总能产量差异不显著（$P>0.05$）外，，其他器官和全株的总能产量均差异显著（$P<0.05$）。

表 6　不同品种类型玉米不同器官和全株总能产量比较

Table 6　Comparison of gross energy yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties

项目 Items		植株数 Number of plants/(株/hm²)	籽实 Kernel/(MJ/hm²)	玉米芯 Corncob/(MJ/hm²)	苞叶 Bract/(MJ/hm²)	叶片 Leaf/(MJ/hm²)	叶鞘 Sheath/(MJ/hm²)	茎秆 Stem/(MJ/hm²)	全株 Whole plant/(MJ/hm²)
淀粉性质 Starch property	粉质玉米 Flour maize	71 250	174 895	33 598	14 544	42 936	18 318	71 392	355 686
	胶质玉米 Glial maize	71 250	177 895	38 162	16 092	49 216	19 087	85 492	385 945
籽实外形 Grain shape	马齿形玉米 Dent maize	74 167	190 175	38 673	17 343	48 693	20 246	88 517	403 643
	半马齿形玉米 Semi dent maize	70 500	177 933	35 171	14 761	46 083	18 556	73 910	366 418
	硬粒玉米 Flint maize	69 375	160 302	37 501	15 242	47 848	17 820	86 199	364 912
成熟性质 Mature property	早熟玉米 Early maturing maize	72 500	183 887	34 501	16 431	47 610	18 619	85 801	386 848

	中熟玉米 Medium maturing maize	69 868	180 347	36 020	14 669	46 037	18 711	78 069	373 849
	晚熟玉米 Late maturing maize	73 929	161 866	40 602	17 456	50 271	19 410	85 253	374 861
用途 Application	糯玉米 Waxy maize	67 500	136 608	32 644^{b}	12 790^{b}	38 058^{b}	14 234^{b}	74 617^{b}	308 955^{b}
	普通玉米 Normal maize	71 562	178 920	35 221^{b}	14 929^{b}	45 702^{b}	18 673^{b}	75 546^{b}	368 983^{b}
	红粒玉米 Red grain maize	67 500	187 569	29 853^{b}	10 180^{b}	46 677^{b}	1 813^{3b}	68 321^{b}	360 728^{b}
	饲用玉米 Forage maize	73 125	192 786	50 635^{a}	23 133^{a}	63 689^{a}	23 539^{a}	122 411^{a}	476 194^{a}
SEM		891	5 795	1 473	845	1 803	602	4 720	11 774
P-值 *P*-value									
品种类型 Variety type		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
淀粉性质 Starch property		1.000	0.815	0.154	0.406	0.107	0.563	0.170	0.240
籽实外形 Grain shape		0.106	0.172	0.597	0.440	0.827	0.317	0.367	0.365
成熟性质 Mature property		0.153	0.389	0.365	0.389	0.655	0.890	0.753	0.919
用途 Application		0.431	0.125	0.001	0.002	0.001	0.001	0.006	0.002

2.6 普通玉米与饲用玉米不同器官和全株生物产量比较

设定普通玉米鲜物质产量为100.0%，则饲用玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的鲜物质产量分别为121.9%、164.2%，175.5%、149.0%、151.7%、168.8%和149.9%（表7）。由此证明，饲用玉米各器官及全株的鲜物质产量都高于普通玉米，其中籽实的鲜物质产量比普通玉米高21.9%。

设定普通玉米的风干物质产量为100.0%，则饲用玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的风干物质产量分别为107.9%、143.7%、155.1%、139.4%、126.1%、162.0%和129.1%（表7）。由此证明，饲用玉米的全株和各器官的风干物质产量都高于普通玉米，虽然籽实的风干物质产量在统计学上差异不显著，但是在数值上比普通玉米高7.7%。

设定普通玉米的干物质产量为100.0%，则饲用玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的干物质产量分别为107.5%、143.4%、155.0%、139.5%、125.7%、162.0%和129.21%（表7）。由此证明，饲用玉米的全株和各器官的干物质产量都高于普通玉米，虽然籽实的干物质产量在统计学上差异不显著，但是在数值上比普通玉米高7.5%。

设定普通玉米的粗蛋白质产量为100.0%，则饲用玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的干物质产量分别为119.0%、142.9%，181.5%、161.6%、122.0%、137.4%和131.7%（表7）。由此证明，饲用玉米全株和各器官的粗蛋白质产量都高于普通玉米，其中籽实的粗蛋白质产量比普通玉米高19.0%。

设定普通玉米不同器官、茎秆和全株的总能产量为100.0%，饲用玉米籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株的总能产量分别为107.7%、143.8%、155.0%、139.4%、126.1%、162.0%和129.1%（表7）。由此证明，饲用玉米的全株和各器官的总能产量均高于普通玉米，虽然籽实的总能产量在统计学上差异不显著，但是在数值比普通玉米高7.7%。

表7 普通玉米与饲用玉米不同器官和全株生物产量比较

Table 7 Comparison of biological yields of different organs and whole plant between normal and forage maizes %

项目 Items		籽实 Kernel	玉米芯 Corncob	苞叶 Bract	叶片 Leaf	叶鞘 Sheath	茎秆 Stem	全株 Whole plant
新鲜产量 Fresh maize	普通玉米 Normal maize	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	饲用玉米 Forage maize	121.9	164.2	175.5	149.0	151.7	168.8	149.9
风干产量 Air-dried maize	普通玉米 Normal maize	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	饲用玉米 Forage maize	107.7	143.7	155.1	139.4	126.1	162.0	129.1
干物质产量 Dried maize	普通玉米 Normal maize	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	饲用玉米 Forage maize	107.5	143.4	155.0	139.5	125.7	162.0	129.2
粗蛋白质产量 Crude protein yield	普通玉米 Normal maize	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

	饲用玉米 Forage maize	119.0	142.9	181.5	161.6	122.0	137.4	131.7
生物总能产量 Gross energy yield	普通玉米 Normal maize	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	饲用玉米 Forage maize	107.7	143.8	155.0	139.4	126.1	162.0	129.1

2.7 普通玉米与饲用玉米不同器官生物产量分布比较

由图 1 可知，籽实的干物质、粗蛋白质和总能产量占全株对应产量的比例，普通玉米分别为 47.75%、57.87%和 48.49%，饲用玉米分别为 39.72%、52.36%和 40.48%。

3 讨 论

优质饲草料的供给不足，是制约我国草食畜牧业发展的重要因素。在玉米生产过剩的形势下，积极推动草食畜牧区与玉米等粮食生产区契合，发展玉米全株青贮等有效利用过剩资源的方式[17-19]，无疑成为了降低生产成本、减少草食家畜饲草料供需缺口的必由之路。

本研究条件下，玉米淀粉性质、籽实外形和成熟性质的差异，在统计学上并不能显著影响玉米各器官和全株的鲜物质、风干物质和干物质产量，同时对粗蛋白质和总能产量的影响也不显著，说明淀粉性质、籽实外形和成熟性质的不同并不适宜于不同品种类型玉米生物产量的评估。以用途的不同为分类标准，饲用玉米的玉米芯、苞叶、叶鞘、叶片、茎秆及全株的鲜物质、风干物质及干物质产量均显著高于普通玉米、红粒玉米及糯玉米，并且粗蛋白质与总能产量也是以饲用玉米最高。糯玉米和红粒型玉米是近几年新培育种植品种，不仅种类少，更重要的是培育成本太高，大田种植面积很小，一

般不选作饲用，在此不做讨论。而当今牛、羊养殖使用的全株青贮、秸秆青贮都是普通玉米品种，以产粮食为目的。就普通玉米和饲用玉米不同器官的干物质、粗蛋白质和总能产量进行比较（图 1）看出，无论是普通玉米还是饲用玉米，籽实的干物质、粗蛋白质和总能产量占全株对应产量的比例都不足 50%。植株干物质、粗蛋白质和总能是玉米为动物提供的三大指标，一切动物的生长都需要从植物获取蛋白质和能量，进而转化成动物体蛋白质和能量，这也是一切畜产品的主要组成物质。当今农牧生产中，普通玉米仅仅把籽实（粮食）用作饲料，这只相当于利用了玉米生产中营养物质的不到 50%，把普通玉米全株饲喂动物，实质上使土地通过玉米的生物转化率提高了 1 倍。如果直接种植饲用玉米，可以在普通玉米基础上使干物质产量提高 29.2%，粗蛋白质产量提高 31.7%，总能产量提高 29.1%（表 7）。因此，普通玉米全株饲喂，是“粮改饲”的最基本的策略，而直接种植饲用玉米，可以增加 30%左右的土地利用。中国的农牧结合是否应该如此大力推广，值得商榷。

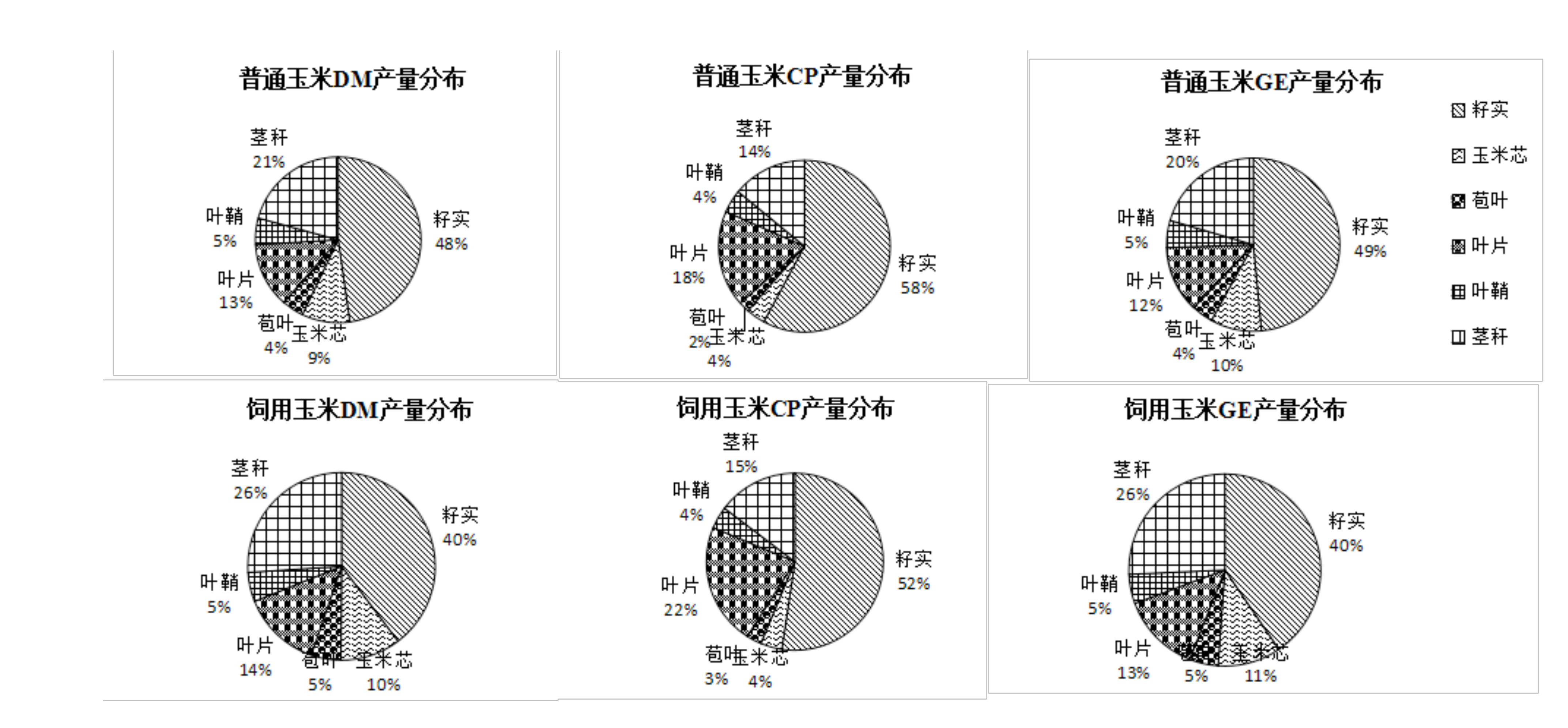


图 1　普通玉米与饲用玉米不同器官生物产量分布比较

Fig.1　Comparison of biological yield distribution of different organs between normal and forage maizes

4 结 论

① 玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株鲜物质、风干物质、干物质、粗蛋白质和总能产量不同品种类型间存在显著差异。

② 根据淀粉性质、籽实外形和成熟性质分类不足以区别不同品种类型玉米的生物产量；按用途分类比较不同品种类型玉米的生物产量，表现为饲用玉米>红粒玉米>普通玉米>糯玉米。

③ 饲用玉米的籽实、玉米芯、苞叶、叶片、叶鞘、茎秆和全株生物产量高于普通玉米。籽实干物质、粗蛋白质和总能产量占玉米全株对应产量的比例，普通玉米分别为 47.75%、57.87%和 48.49%，饲用玉米分别为 39.72%、52.36%和 40.48%。

④ 饲用玉米籽实和全株生物产量都高于普通玉米，种植饲用玉米可以增加 30%左右的土地利用。

参考文献:

[1] 苏绣峡,邱山.秸秆饲料开发利用的思考[J].中国饲料,1996(12):5–7.

[2] RAMESSAR K,SABALZA M,CAPELL T,et al.Maize plants:an ideal production platform for effective and safe molecular pharming[J].Plant Science,2008,174(4):409–419

[3] 王中华,方磊涵,赵香菊,等.青贮玉米籽实对蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道内环境的影响[J].动物营养学报,2012,24(8):1571–1576.

[4] 顾剑新.不同破碎处理对玉米淀粉瘤胃降解、利用和湖羊生长的影响[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2005.

[5] 卞云龙,顾啸,孙东雷,等.玉米茎秆糖含量的遗传模式分析[J].作物学报,2013,39(2):249–257.

[6] 马飞前,刘小刚,王红武,等.玉米茎秆纤维素含量遗传分析[J].玉米科学,2015,23(1):10–16.

[7] KHONJE M,MANDA J,ALENE A D,et al.Analysis of adoption and impacts of improved maize varieties in eastern Zambia[J].World Development,2015,66:695–706.

[8] BEYENE A D,KASSIE M.Speed of adoption of improved maize varieties in Tanzania:an application of duration analysis[J].Technological Forecasting and Social Change,2015,96:298–307.

[9] 丁仕英,汪经壮.玉米种植现状与新技术应用的效率[J].吉林农业,2016(5):64.

[10] 王喜庆.试论玉米种植现状及新技术应用效率研究分析[J].农业与技术,2016,35(5):100.

[11] 梁宝文."粮改饲"提振饲料业原料供应格局或变[J].农村.农业.农民:B 版,2015(3):50–51.

[12] 林笑."粮改饲"的产业机遇[J].农经,2015(5):50–51.

[13] 杜洁茹."粮改饲"时代已来[J].今日畜牧兽医,2016(2):29–32.

[14] 郑瑞强,刘小春."粮改饲"政策效应分析与关键问题研究热点[J].中国畜牧兽医文摘,2016,32(3):2–3.

[15] 张卫.粮改饲是解决玉米过剩的出路[J].中国食品,2016(4):100–101.

[16] NRC.Nutrient requirements of swine[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2012.

[17] 杨在宾,王小明,丁晓,等.玉米全株发酵饲喂生长育肥猪效果及效益比较研究[J].猪业科学,2016,33(3):80–82.

[18] 宋锡章.青饲和青贮专用玉米品种应用现状及发展趋势[J].黑龙江农业科学,2003(3):30–32.

[19] 杨国航,吴金锁,张春原,等.青贮玉米品种利用现状与发展[J].作物杂志,2013(2):13–16.

A Comparison on Biological Yields of Different Organs and Whole Plant among Different Types of Maize Varieties

YANG Lijie[1] WANG Zhaofeng[2] YANG Zaibin[1*] JIANG Shuzhen[1*]

(1. *Shandong Provincial Key Laboratory of Animal Biotechnology and Disease Control and Prevention, College of Animal Science and Technology*, *Shandong Agricultural University*, *Tai' an* 271018, *China;*2. *Shandong Provincial Animal Husbandry and Veterinary General Station, Jinan* 250022, *China*)

Abstract: The biological yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties were compared in the present study, in order to improve the selection efficiency of maize directed cultivation. This study selected 32 representative maize varieties as test materials, according to the maize starch property, grain shape, mature property and application of four kinds

*Corresponding authors: YANG Zaibin, professor, E-mail: yzb204@163.com; JIANG Shuzhen, associate professor, E-mail: shuzhen305@163.com （责任编辑 荁景颖）

of classification methods, respectively, the fresh matter, air-dry matter, dry matter, crude protein and gross energy yields of grain, corncob, bract, leaf, sheath, stem and whole plant for maize in full ripening stage made a comparative study. There were 5 plots per variety and 10 plants were selected in each plot. The results showed that the fresh matter, air-dry matter, dry matter, crude protein and gross energy yields of grain, corncob, bract, leaf, sheath, stem and whole plant had significant differences among different types of maize varieties (P<0.05). According to the classification of starch property, grain shape and mature property, not enough to distinguish the biological yields of different organs and whole plant among different types of maize varieties (P>0.05). According to the classification of application, the significant differences were found in the biological yields of different organs and whole plant (except the air-dry matter, dry matter, crude protein and gross energy yields of corn grain) among different types of maize varieties (P>0.05), which showed forage maize>red grain maize>normal maize>waxy maize. Comparison of normal maize and forage maize, assumed that normal maize to yield 100.0%, the fresh matter yields of grain, corncob, bract, leaf, sheath, stem and whole plant for forage maize were 121.9%, 164.2%, 175.5%, 149.0%, 151.7%, 168.8% and 149.9%, respectively; the dry matter yields of them were 107.9%, 143.7%, 155.1%, 139.4%, 126.1%, 162.0% and 129.1%, respectively; the dry matter yield of them were 107.5%, 143.4%, 155.0%, 139.5%, 125.7%, 162.0% and 129.21%, respectively; the crude protein yields of them were 119.0%, 142.9%, 181.5%, 161.6%, 122.0%, 137.4% and 131.7%, respectively; the gross energy yields of them were 107.7%, 143.8%, 155.0%, 139.4%, 126.1%, 162.0% and 129.1%, respectively. The percentage of dry matter, crude protein and gross energy yields of maize gain in maize whole plant, the normal maize were 47.75%, 57.87% and 48.49%, respectively, while the forage maize were 39.72%, 52.36% and 40.48%, respectively. In conclusion, whole plant feeding of normal maize is the most basic strategy of “grain to feed”. The biological yields of gain and whole plant for forage maize are higher than those for normal maize, and forage maize can increase the land use around 30%

Key words: maize; plants; crude protein; gross energy; biological yield